

(Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Республика Казахстан)

**ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПОВЕРХНОСТНОЙ
СТРУКТУРЫ ТОНКИХ МАГНИТНЫХ ПЛЕНОК Fe,
ОСАЖДЕННЫХ НА КРИСТАЛЛ MgO**

Аннотация

Было проведено исследование тонких магнитных пленок железа, осажденных на монокристалл MgO путем молекулярно-пучковой эпитаксии. Исследование проводилось в условиях сверхвысокого вакуума. Были изготовлены три образца тонких пленок Fe, осажденных на кристалл MgO, состоящих из 15, 30 и 60 слоев соответственно. Анализ поверхностной структуры полученных образцов проводился с помощью сканирующего туннельного микроскопа. Определены различия размеров и формы осажденных на образцы частиц Fe. Проведен анализ поверхностной структуры строения полученных пленок.

Ключевые слова: тонкие магнитные пленки, сканирующая туннельная микроскопия, оксид магния.

Кілт сөздер: жұқа магнитті кабыршақ, сканирлеуші туннельдік микроскоп, магний оксиді.

Keywords: thin magnetic films, scanning tunneling microscopy, magnesium oxide.

Введение. В последние годы нанотехнология стала одной из важных и перспективных областей во многих сферах деятельности общества. Внимание, уделяемое нанообъектам, определяется не-обычностью свойств, проявляемых наночастицами и возможностью получения новых материалов на их основе. Частицы, размером менее 100 нанометров, придают материалам качественно новые свойства [1].

Исследование тонких магнитных пленок в данный момент является одним из активно исследуемых направлений в нанотехнологии. Хороший комплекс магнитных характеристик некоторых наноматериалов (железо в сочетании с различными оксидами) делает перспективным их использование для записывающих устройств [2]. Пленочные наноматериалы с плоской поверхностью и поверхностью сложной формы из магнитомягких сплавов используют для видеоголовок магнито-фононов, где они существенно превосходят по служебным свойствам традиционные материалы. Поэтому создание новых металлосодержащих пленочных наноматериалов имеет важное прикладное значение в

материаловедении, так как открывает необычные синергические эффекты и свойства наноструктурированных материалов.

Эпитаксиально осажденные пленки Fe обладают высокими магнитными [3] и коэрцитивными [4] свойствами.

Образцы и методика эксперимента. Образцы представляют собой готовые пластины моно-кристаллов MgO (производство Matech GmbH) размером 8×8 мм. Весь эксперимент проводился на установке в лаборатории экспериментальной физики университета Генриха-Гейне, Германия (Дюссельдорф). Установка состояла из 2 основных частей: камер для подготовки образцов и для проведения анализа полученных образцов. Эксперименты проводились в условиях сверхвысокого вакуума (около 10^{-8} Па). Образцы готовились непосредственно во время эксперимента при базовом давлении около $5 \cdot 10^{-10}$ мбар. Далее пластины устанавливались на манипулятор и затем проводился процесс молекулярно-пучковой эпитаксии [5] в камере для подготовки образцов. Было получено несколько образцов с разным количеством слоев пленки железа (соответственно 15, 30 и 60 слоев).

Монокристаллы оксида магния были предварительно очищены от примесей с помощью ультра-звуковой технологии [6] в растворе изопропанола и затем кристаллы были подвергнуты нагреву до температуры 550K в течение 30 минут.

Для получения 15 слоев наноструктурной пленки на монокристалле MgO проводился процесс молекулярно-пучковой эпитаксии железом в течение 9,5 минут. Соответственно для получения 30 слоев процесс продолжался в течение 19 минут и для получения 60 слоев в течение 38 минут.

В итоге были получены тонкие наноструктурные пленки Fe, осажденные на монокристаллы MgO. После проведения молекулярно-пучковой эпитаксии объекты исследования с помощью манипулятора устанавливались во вторую камеру уже для анализа поверхностной структуры.

Экспериментальные данные и их анализ. Анализ полученных изображений был произведен на сканирующем туннельном микроскопе (СТМ) Omicron UHV STM [7] (рисунок 1).

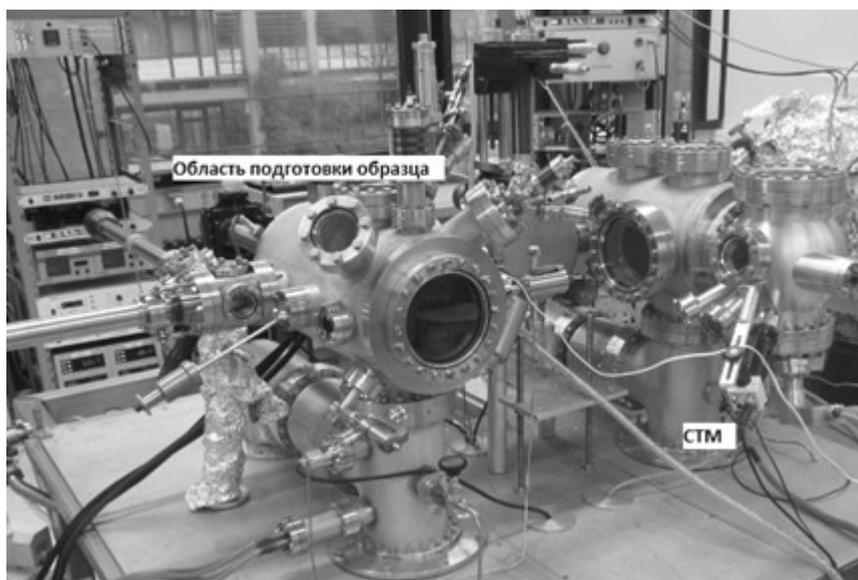
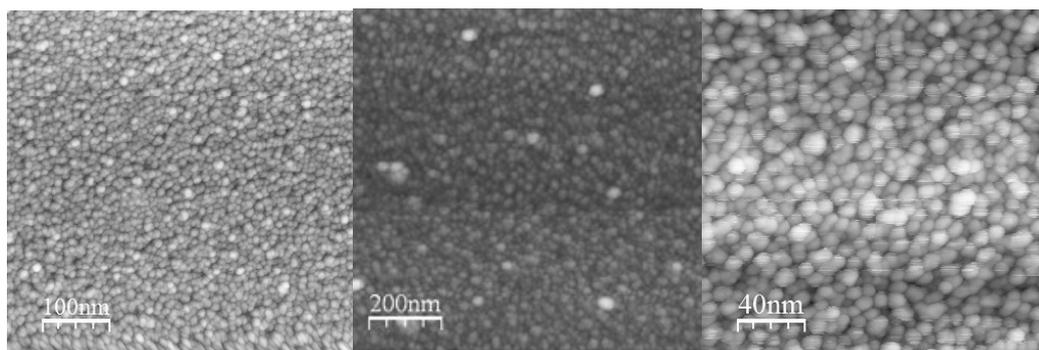


Рисунок 1 – Установка для проведения эксперимента Omicron UHV STM

Сила тока при сканировании – 0,5 нА. В результате сканирования получены следующие изображения поверхности образца. Сканирование проводилось при скорости 15 мкм/с. На поверхности образца выбиралось поле сканирования размером: 200 на 200 нм, 500 на 500 нм, 1000 на 1000 нм.

При сканировании образцов Fe 15 layers, Fe 30layers, Fe 60 Layers в ходе сканирования образца получены следующие кадры (рисунок 2).



а)

б)

в)

Рисунок 2 – СТМ изображения:

а) Fe 15 layers в разрешении 100 нм, б) Fe 30 Layers в разрешении 200 нм, в) Fe 60 Layers в разрешении 40нм

Для анализа и обработки полученных кадров STM было использовано программное обеспечение «WSxM» (“Windows Scanning(x= Force, Tunnelling, Near Optical, ... Microscope” – мощное и удобное приложение для сбора и обработки данных сканирующей зондовой микроскопии), проведен двух-трехмерный просмотр кадров в редактируемых палитрах.

На STM изображениях б) и в) рисунка 2 имеются горизонтальные помехи, что говорит о присутствии на поверхности плёнки не закрепленных наночастиц Fe железа, страгиваемых или таскаемых зондом. Эти горизонтальные помехи мешали дальнейшему анализу кадра, поэтому они были вычистены медианной фильтрацией мягким фильтром, после чего кадр был обработан дополнительно.

Для более подробного анализа полученного изображения был применен инструмент 3-D ви-зуализации. С его помощью была построена 3 D визуализации кадра поехности (рисунок 3).

Представление кадров в трехмерном виде контрастно визуализировало структуру частиц. На скане-изображении отчетливо различимы островки наночастиц железа, видно много наночастиц размерами больше 10 нм.

Наиболее крупные частицы Fe сконцентрированы в левой части. Наиболее крупный размер на-ночастиц составляет около 50 нм (рисунок 3).

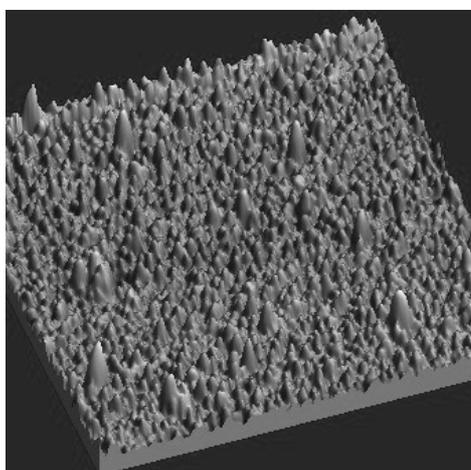


Рисунок 3 – 3D визуализации кадра поехности Fe 30 Layer. Пики соответствуют наночастицам Fe

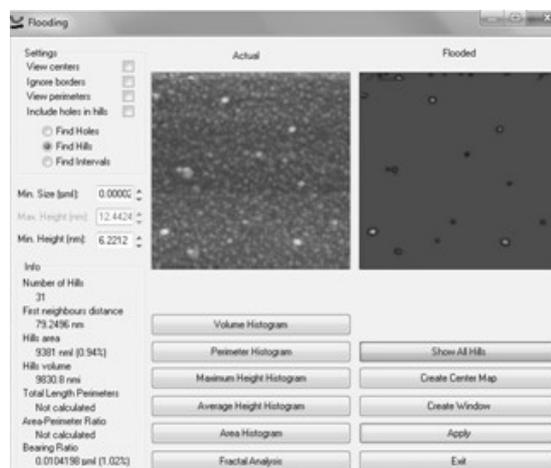


Рисунок 4 – Определение частиц Fe 30 Layers. Окно программы «WSxM» для анализа структуры поверхности

С помощью инструмента Flooding на кадре-изображении были выделены островки крупных наночастиц железа на тонкой пленке (рисунок 4). Количество островков составляет 31. Наибольшая высота – 12,44 нм.

Для дальнейшего анализа полученного кадра был использован инструмент Профиль.

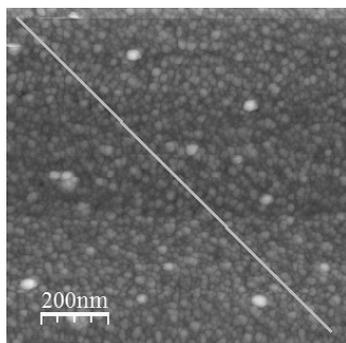


Рисунок 5 – Кадр поверхности образца Fe 30 Layers с нанесенным профилем сечения (линия)

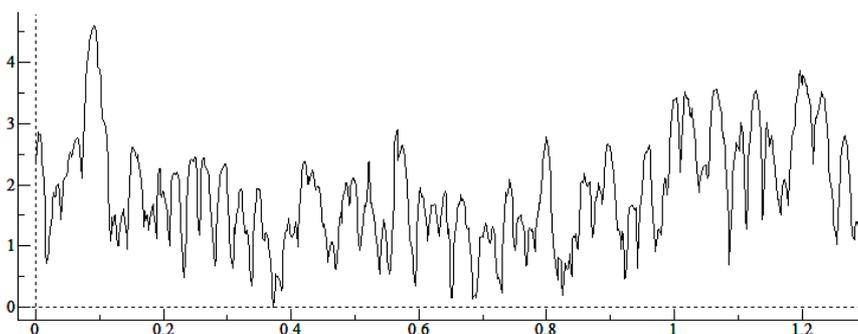


Рисунок 6 – Профиль сечения

Вывод профиля изображения наблюдаемых на следующих кадрах (рисунок 5, 6) позволяет сказать о следующем. Размер самых больших по размеру наночастиц составляет около 50 нм. Длина профиля сечения около 1000 нм. Для охвата наибольшей длины анализа, сечение обзора устанавливалось диагонально из верхнего левого угла в нижний правый угол. Такое сечение дает возможность рассмотреть изменение высоты структуры пленки железа (рисунок 5, 6).

Заключение. Экспериментальные результаты, полученные с использованием комплекса со-временных физико-химических методов и их интерпретация, позволяют прийти к следующему:

– высокий контраст и разрешение кадров с СТМ показал применимость данного метода при исследовании тонких наноструктурных пленок Fe, осажденных на монокристалл MgO методом молекулярно-пучковой эпитаксии;

– отчетливо просматриваются формы зерен (чешуйчатость) с малыми размерами от 10 до 50 нм;

– определено, что при осаждении тонких магнитных пленок железа на оксид магния образуются наночастицы железа размером до 50 нм;

– поверхность образца представляет собой не сильно развитую по шероховатости поверхность. Островки наночастиц железа четко выделяются на кадре. В основном наночастицы сформированы в центральной части образца.

Эти результаты могут быть использованы в дальнейших исследованиях тонких пленок Fe, осажденных на монокристалл MgO.

ЛИТЕРАТУРА

1 Wiliam A., Donald W., Sergey E. Handbook of Nanoscience, Engineering and Technology. **2007**, CRC Press.

2 Карабасов Ю.С. Новые материалы. **2002**, М.: МИСИС. С. 505-584

3 T . F . Yoshizaki etal. Z. Phys. D. **1991**, 19,259

4 Kayano et al. J.Phys. Condens.Matter, **1991**, 3, 5921

5 G. X. Miao, J. Y. Chang, M. J. van Veenhuizen, K. Thiel, M. Seibt, G. Eilers, M. M? nzenberg, and J. S. Moodera. Appl. Phys. Lett. **2008**, 93, 142511

6 Costel Constantin, Abhijit Chinchore, Arthur R. Smith. Mater. Res. Soc. Symp. Proc. **2011**, Vol. 12 5.

7 Armin Kleibert, Wolfgang Rosellen, Mathias Getzlaff. Beilstein J. Nanotechnol. **2011**, 2, p 47–56.

REFERENCES

1. Wiliam A., Donald W., Sergey E. *Handbook of Nanoscience, Engineering and Technology*. **2007**, CRC Press.

2. Karabasov U.S. *Novie Materiali*. **2002**, М.: МИСИС, С. 505-584

3. T . F . Yoshizaki etal. *Z. Phys. D*. **1991**, 19,259

4. Kayano etal. *J.Phys. Condens.Matter*, **1991**, 3, 5921

5. G. X. Miao, J. Y. Chang, M. J. van Veenhuizen, K. Thiel, M. Seibt, G. Eilers, M. M? nzenberg, and J. S. Moodera. *Appl. Phys. Lett*. **2008**, 93, 142511

6. Costel Constantin, Abhijit Chinchore, Arthur R. Smith. *Mater. Res. Soc. Symp. Proc*. **2011**, Vol. 12 5 ()

7. Armin Kleibert, Wolfgang Rosellen, Mathias Getzlaff. *Beilstein J. Nanotechnol*. **2011**, 2, p 47–56.

Резюме

Б. К. Абдыкадыров

(Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан Республикасы)

MgO КРИСТАЛЫНА ТҰНДЫРЫЛҒАН Fe ЖҰҚА МАГНИТТІК ҚАБЫРШАҚТАРЫНЫҢ

ЗЕРТТЕЛУІ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫМЫНА ТАЛДАУ ЖАСАУ

Молекулалық-шоқ эпитакция әдісімен MgO монокристалына тұндырылған Fe жұқа магниттік қабыршақтарының зерттеуі жүргізілген. Зерттеу аса жоғары вакуум жағдайында жасалды. Жұмыс барысында MgO кристалында 15, 30 және 60 Fe қабаттан құралған жұқа қабыршағы бар 3 сынама алынды. Сынаманың беттік құрылымын зерттеу сканирлеуші туннельдік микроскоп көмегімен жүзеге асырылды. Өртүрлі Fe концентрациясы кезіндегі MgO монокристалында Fe нанобөлшектерінің өлшемдері мен таралуының айыр-машылығы анықталды. Алынған сынамалардың беттік құрылымының анализі жасалынған.

Кілт сөздер: жұқа магнитті қабыршақ, сканирлеуші туннельдік микроскоп, магний оксиді.

Summary

B. K. Abdykadyrov

(Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Republic of Kazakhstan)

RESEARCH AND ANALYSIS OF THE SURFACE STRUCTURE OF THE THIN MAGNETIC Fe FILMS DEPOSITED ON THE MgO CRYSTAL

In this work, a research of thin magnetic Fe films which have been grown by molecular beam epitaxy deposition on a single crystal MgO by molecular beam epitaxy. The study was conducted in an ultrahigh vacuum. During the experiment were prepared three samples of thin Fe films deposited on the single crystal MgO, which consisted of 15 layers, 30 layers and 60 layers of Fe. Analysis of the surface structure of the samples was performed with scanning tunneling microscope. Determined the size and shape differences of Fe nanoparticles which deposited on a single crystal MgO at different layers. Made the analysis of the structure of the surface structure of the films.

Keywords: thin magnetic films, scanning tunneling microscopy, magnesium oxide.

Поступила 5.07.2013г.